

12-13-2019

## Design of A Flexible System Simulation Evaluation Framework

Rusheng Ju

*College of System Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410072, China;*

Zimin Cai

*College of System Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410072, China;*

Wang Song

*College of System Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410072, China;*

Wang Peng

*College of System Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410072, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

## Design of A Flexible System Simulation Evaluation Framework

### Abstract

**Abstract:** To meet variable evaluation requirement of complex system simulation, this paper puts forward a design strategy of flexible effectiveness evaluation framework. The composition structure of system simulation evaluation framework is analyzed. To help users design reference dynamically, *the method of evaluation reference edit and display is introduced based on Web. To enhance the extensibility of evaluation model, the method of interface design and code generation is investigated. To ensure the flexibility and extensibility of evaluation framework, the relation and mapping mechanism of evaluation references, evaluation model and evaluation result is studied.* The framework is realized and verified in practice example.

### Keywords

flexibility, evaluation framework, code generation, evaluation model, evaluation reference

### Recommended Citation

Ju Rusheng, Cai Zimin, Wang Song, Wang Peng. Design of A Flexible System Simulation Evaluation Framework[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(11): 2289-2295.

# 一种柔性仿真系统评估框架设计

鞠儒生, 蔡子民, 王松, 王鹏

(国防科技大学系统工程学院, 湖南 长沙 410072)

**摘要:** 针对复杂系统仿真评估需求灵活多变的特点, 提出一种柔性效能评估框架设计策略。分析系统仿真评估框架的组成结构, 提出基于 Web 的评估指标编辑与展现方式, 方便用户对指标进行动态构建, 提出一种评估模型接口设计与代码生成策略, 实现了评估模型的动态拓展, 建立评估指标、评估模型以及评估结果三者之间的关联与映射机制, 确保了整个评估框架的灵活性与可扩展性。应用案例验证了框架的有效性。

**关键词:** 柔性; 评估框架; 代码生成; 评估模型; 评估指标

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2019) 11-2289-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-0134

## Design of A Flexible System Simulation Evaluation Framework

Ju Rusheng, Cai Zimin, Wang Song, Wang Peng

(College of System Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410072, China)

**Abstract:** To meet variable evaluation requirement of complex system simulation, this paper puts forward a design strategy of flexible effectiveness evaluation framework. The composition structure of system simulation evaluation framework is analyzed. To help users design reference dynamically, the method of evaluation reference edit and display is introduced based on Web. To enhance the extensibility of evaluation model, the method of interface design and code generation is investigated. To ensure the flexibility and extensibility of evaluation framework, the relation and mapping mechanism of evaluation references, evaluation model and evaluation result is studied. The framework is realized and verified in practice example.

**Keywords:** flexibility; evaluation framework; code generation; evaluation model; evaluation reference

## 引言

仿真已成为人们认识与改造客观世界的一种重要手段, 基于模型与数据构建仿真系统, 进而将真实世界的问题变换到仿真域进行评估求解, 是复杂系统研究的重要策略。然而, 在多数复杂系统仿

真评估应用中, 由于评估需求与评估对象不同, 评估指标体系与评估模型往往千差万别, 而且由于仿真系统开发与集成过程中编程语言、系统平台以及数据结构的差异, 建好的评估框架往往与特定应用领域相关, 其可重用性受到了很大限制。在此背景下, 一个比较突出的问题是评估系统只能应用于特定领域, 一旦想要拓展复用, 往往需要开展大量移植与修改完善工作, 有时甚至需要推倒重建, 但完全重建会导致许多重复工作, 用户常常难以抉择。

因此需要设计一种评估框架, 基于该框架能实现评估指标的动态构建、评估模型的有效拓展以及



收稿日期: 2019-03-30 修回日期: 2019-05-21;

基金项目: 国家自然科学基金(61673388);

作者简介: 鞠儒生(1976-), 男, 江苏泰兴, 博士, 副教授, 研究方向为系统仿真数据评估分析, 人工智能及其应用。

<http://www.china-simulation.com>

• 2289 •

评估结果的灵活展现,从而提高仿真评估系统的可重用性。从国内外研究现状来看,许多学者从理论与实践两方面着手,开展不少有益探索。欧阳应军等提出一种基于 DEVS 模型驱动的多质量属性仿真评估方法,实现了从图形化建模到仿真代码自动生成的全过程<sup>[1]</sup>。王华等运用规则驱动的仿真原理、层次分析法等评估方法,构建炮兵维修分队保障行动仿真训练与评估系统<sup>[2]</sup>。熊彪等基于离散系统仿真软件 ARENA,对航空兵场站油料保障系统功能模块进行了分析,构建了航空兵场站油料保障仿真评估模型<sup>[3]</sup>。何强等采用面向服务的思想,设计了基于 SOA 的仿真服务系统<sup>[4]</sup>。李权等设计仿真评估组件来应对复杂系统仿真评估问题<sup>[5]</sup>。

### 1 仿真系统评估框架逻辑组成

复杂系统仿真评估的基本研究过程如图 1 所示:研究人员首先根据具体问题确定评估指标,建立指标解算所需评估模型,然后基于仿真结果数据解算评估指标,解算结果反馈对仿真系统进一步调整优化,上述过程反复迭代直至寻找到所关心问题的答案。

在实际应用中,评估系统往往与应用领域密切相关,对应图 1 中评估指标、评估模型与仿真系统

是一种紧耦合关系,评估系统可重用性与可拓展性因此大打折扣。针对这一问题,本文采用评估指标、评估模型以及评估应用相分离的思想,设计“资源+组件+应用”的仿真评估三层逻辑结构如图 2 所示。

在图 2 仿真评估框架中,上层用户只需关注自己熟悉的应用领域和访问接口,而不必关心各种工具的实现细节和底层物理资源,从而大大降低了仿真系统评估应用门槛。由于资源层各类数据相对独立,应用层与特定领域密切相关,要达到上述目标,关键是要做好中间层评估组件的设计,包括评估模型生成、评估模型组合以及评估模型加载等模块。在此基础上,还要对这三层要素之间的内在关系与外部交互进行研究,使其构成一个有机的整体,实现从底层评估资源到上层评估应用的一体化关联映射。

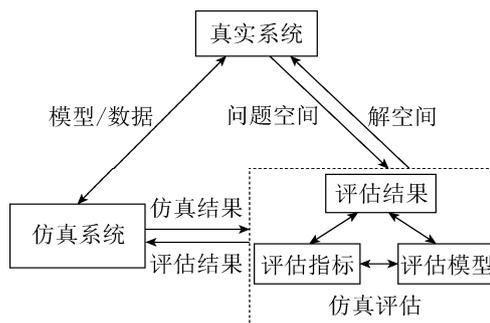


图 1 仿真系统评估过程  
Fig. 1 Evaluation process of simulation system

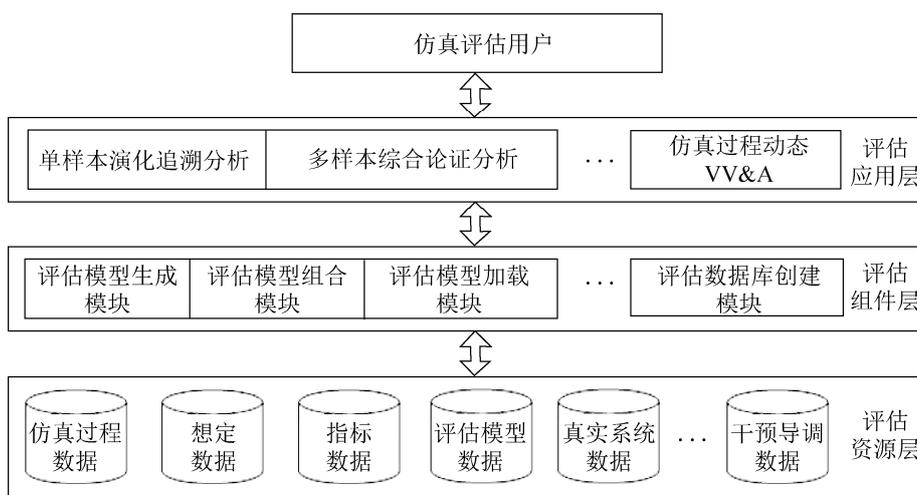


图 2 仿真评估框架组成图  
Fig. 2 Diagram of simulation evaluation framework

## 2 评估指标设计

在复杂系统仿真中, 研究问题一般通过具体评估指标来回答, 因此构建的评估指标体系要能覆盖问题的解空间, 但由于研究问题的多样性, 评估指标往往难以预先确定, 其可扩展性显得尤为重要。本文设计评估指标体系基本结构如图 3 所示, 指标体系以 XML 文件的形式存在, 基本元素包括指标

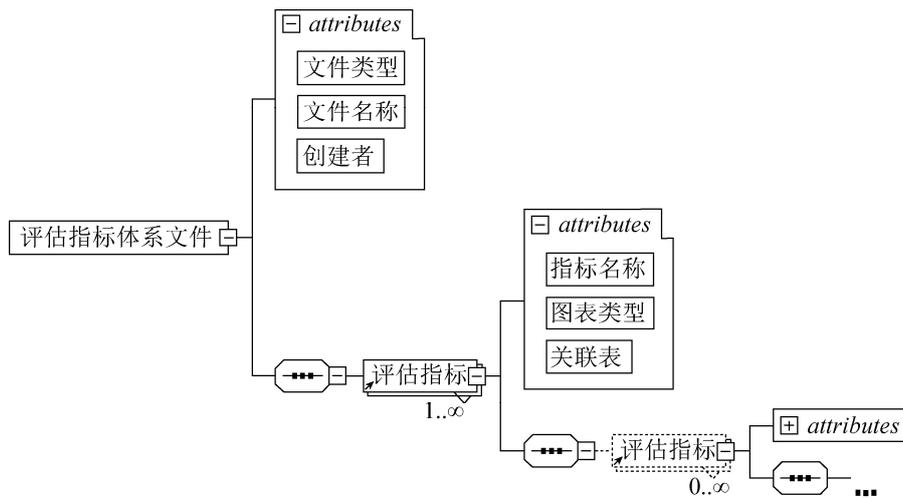


图 3 评估指标结构描述图  
Fig. 3 Framework description diagram of evaluation indexes

在对评估指标进行编辑与展现时, 采用基于 Web 的方式, 这样设计的优点是, 网络上任何用户都可以根据需要独立设计评估指标, 关联对应的评估模型, 并确定最终的指标展现方式, 整个过程不需要安装任何第三方软件, 编辑形成的指标文件保存到网络数据库, 其他用户基于使用权限可以很方便地进行浏览与修改。另外通过 Web 服务器加浏览器的模式还可以实现 Linux、Windows 等不同操作系统下跨平台应用的需求。

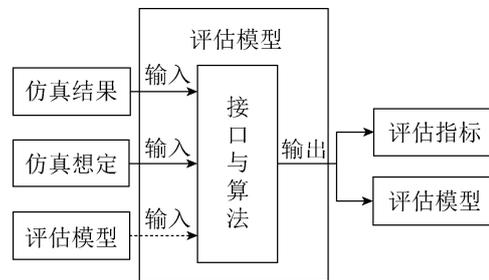
## 3 评估模型设计

评估模型是针对评估指标的解算需求, 采用特定评估算法对仿真结果数据进行处理。评估指标的多样性往往带来了评估模型的不确定性。如果评估模型采用传统硬编码的生成方式, 则模型调整往往

名称、图表类型以及关联表 3 类属性。其中指标名称描述指标标识信息, 图表类型决定了指标的展现方式, 例如饼状图、柱状图、曲线图等, 关联表存储指标的解算值。

从图 3 中可以看出, 各层级评估指标可以很方便地进行增加、修改、删除等编辑工作, 上层评估指标可以包含下层评估指标, 指标之间可以建立组合、关联等不同关系。

需要进行代码级的修改, 会给用户使用造成很大的不便, 因此需要提供一种灵活的评估模型生成机制。从评估模型的基本组成来看, 一般包括输入数据接口、输出数据接口以及核心功能算法 3 个部分, 如图 4 所示。



如果把评估模型看成是一个黑盒的话, 与用户使用直接关联的是其对外接口。因此可以从评估模

型输入、输出接口设计着手，并提供用户对核心算法修改的窗口，完成整个模型的封装。

### 3.1 评估模型接口设计

本文采用的策略是按照统一标准进行接口定义与约束，生成评估模型接口模板，用户只需根据实际应用需求填写，然后由评估框架基于用户填写的模板信息自动生成代码，主要包括输入接口函数、主计算函数以及输出接口函数等 3 种类型。其中输入接口函数提供评估模型所需的输入数据，主计算函数由用户编写特定领域评估代码对输入数据进行计算，并将计算的结果提供给输出接口函数保存，最后评估框架对用户修改过的代码进行动态编译，生成评估模型动态链接库(Dynamic Link Library, DLL)组件，评估模型文件的基本结构如图 5 所示。

图 5 中评估模型 DLL 包含中英文名称、模型类型、创建用户、接口函数等信息，另外还存在 3

层一对多的映射关系，即一个评估动态链接库 DLL 可能包含多个接口函数，一个接口函数可能具有多个参数，一个参数可能存在多种过滤条件，过滤条件主要对输入函数参数对应的数据进行过滤筛选。

### 3.2 评估模型组成分析

动态链接库 DLL 是评估模型的基本组成单元，通常分为两种类型，在线评估模型与事后评估模型。在线评估模型在仿真过程中获取数据并进行统计评估，评估的结果实时输出显示，其功能侧重于单样本的演化趋势分析等；事后评估模型在仿真完成后对多样本进行统计评估，其功能侧重于多样本的综合评估、影响因素分析等。

在实际应用中，评估模型的输入参数数据主要有 3 种来源：仿真结果数据、仿真想定数据以及其它评估模型的输出数据，如图 4 所示，这些数据需要通过接口函数注入到评估模型中。

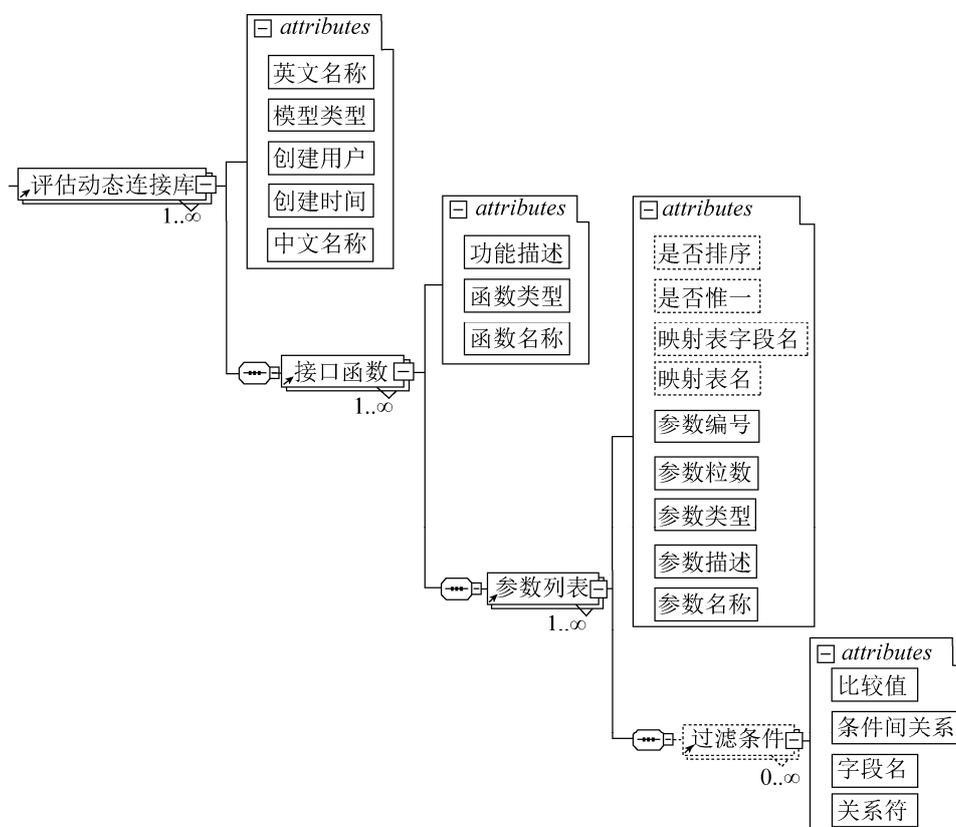


图 5 评估模型基本结构  
Fig. 5 Basic framework of evaluation model

<http://www.china-simulation.com>

图 5 中评估模型接口函数由各种参数构成, 包含整型、浮点型以及字符型等类型, 参数粒度包括单变量与多维数组。输入接口函数获取各种外部数据进行评估模型的解算, 设计策略是将函数参数与具体输入数据项关联映射, 评估框架根据映射关系自动将输入数据表中的数据过滤提取并注入到评估模型中。对输出接口函数, 评估框架根据 DLL 英文名称、接口函数名称以及参数描述等信息在 Web 数据库中创建评估模型输出映射表, 这样评估计算的结果可以很方便地存储到输出映射表项中。

由于输入/输出接口函数及其组成参数能够灵活编辑并动态生成代码, 用户可以很方便地对评估模型接口及其算法进行添加、删除、修改等各种操作, 并随时编译生成 DLL 进行调用测试, 实现了评估模型的灵活扩展, 而评估框架及其他应用程序可以保持不变。

### 3.3 原子/组合评估模型设计

评估模型输入仅包括仿真结果等数据, 可以看作是原子评估模型; 如果模型的输入还包括其它评估模型的输出, 则可以看作是组合评估模型。从图 6 可以看出, 组合评估模型也可以继续为其它评估模型提供输入数据, 从而实现评估模型之间的多层聚合关系。基于这一设计策略, 用户可以像搭积木一样方便地搭建更为复杂的组合评估模型。

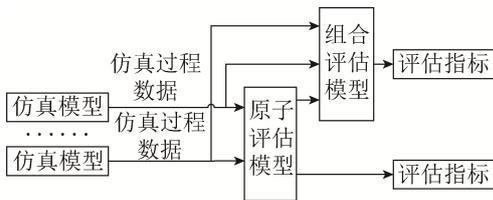


图 6 原子评估模型与组合评估模型  
Fig. 6 Atomic evaluation model and combined evaluation model

从整个评估模型的生成过程可以看出, 由于框架对评估模型的输入/输出数据进行了自动处理, 评估用户可以把精力集中于评估模型核心算法的编写, 而不用关心具体仿真系统的构建与运行, 也不需要设计与仿真系统的接口。

## 4 评估框架整体设计

在对评估指标、评估模型、评估结果展现等模块进行设计的基础上, 本文对它们之间的关联与交互进行综合设计, 如图 7 所示。从图 7 可以看出, 评估框架首先通过评估指标关联对应的评估模型, 然后通过评估模型关联对应的接口函数参数, 最后通过接口函数参数关联具体的仿真结果, 这样评估框架就实现了评估指标、评估模型以及仿真结果等不同元素之间的动态关联映射, 基于一个有机的整体解决了用户评估需求灵活多变的难题。

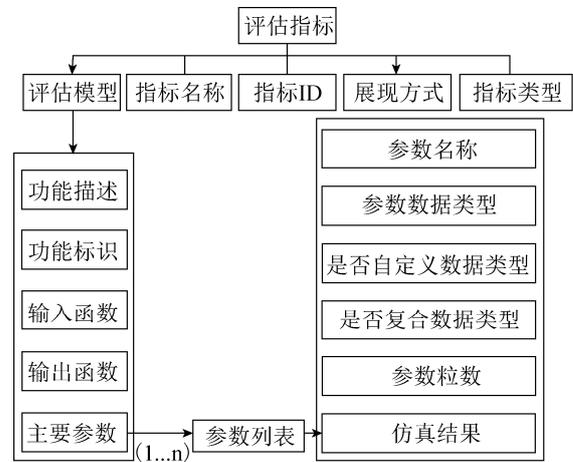


图 7 评估模型框架整体关联分析  
Fig. 7 Whole association analysis of evaluation model framework

## 5 系统应用实践

根据上述设计思想, 本文基于 VC++6.0 构建仿真系统效能评估框架, 后台 Web 数据库采用 Oracle, Web 服务器选用 Apache, 其中模型编辑过程如图 8 所示。在完成图 8 模型编辑后, 框架自动生成模型接口函数代码如图 9 所示, 用户只需在代码中添加相应的评估模型算法, 通过编译得到 DLL 文件, 由于采用 DLL 显式加载的方式, 用户不需要关联任何头文件(.h)与静态链接库文件(.lib), 应用时评估框架自动调用, 所需的输入数据由评估框架动态注入, 输出数据由评估框架自动保存, 用户不需要进行额外的工作, 最后将通过测试的模型注册与对外发布。



图 8 评估模型编辑  
Fig. 8 Edit of evaluation model

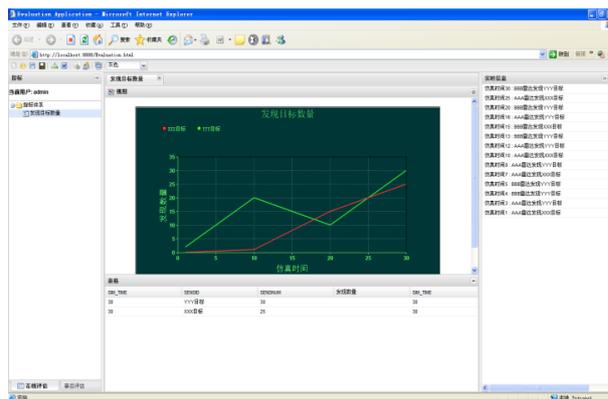


图 11 基于 Web 的评估结果展现  
Fig. 11 Display of evaluation result based on Web

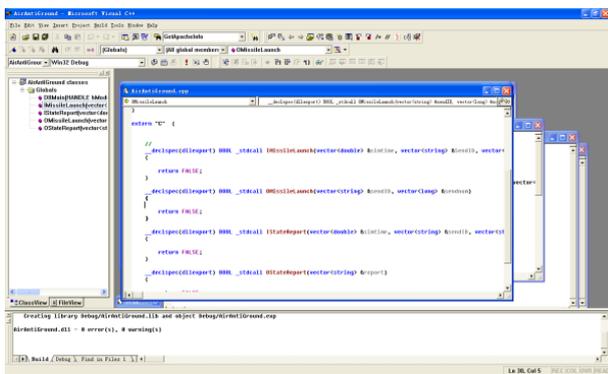


图 9 评估模型代码生成  
Fig. 9 Code generation of evaluation model

评估指标的编辑与映射如图 10 所示，图 10 中下拉列表中显示了已注册的评估模型，用户编辑评估指标时可以根据需要选择不同的评估模型进行关联，还可以确定不同的评估指标展现方式，包括二/三维图形、表格、文字等多种形式。基于 Web 的评估结果展现如图 11 所示，用户可通过 Web 浏览器选择自己关心的评估指标体系进行浏览查看。

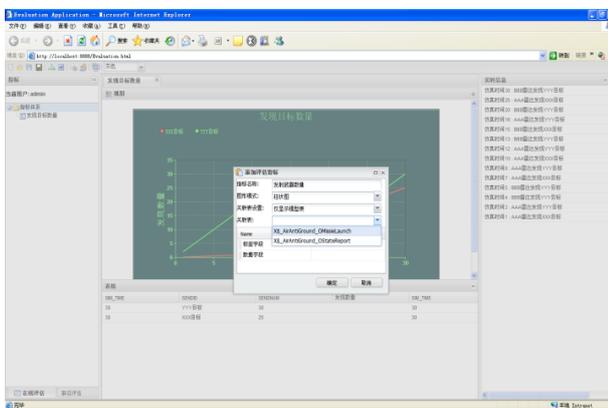


图 10 评估指标编辑与映射  
Fig. 10 Edit and map of evaluation index

该评估框架目前已经在武器装备型号论证以及军事人员训练评估等多个项目中进行了应用，有效支撑了指挥通信、电子对抗以及作战毁伤等不同领域评估要求。同时针对一些专业领域评估需求，框架提供了良好的拓展接口，支持用户灵活地进行二次开发，取得了较好的应用效果。

## 6 结论

本文根据复杂系统仿真评估的特点，设计了一种柔性效能评估框架，突破了评估模型代码生成与动态加载，评估指标、评估模型以及评估结果一体化关联映射，评估指标灵活编辑与 Web 展现等技术，同时理论联系实践，将框架应用到多个实际仿真系统中并取得了不错的效果。存在的主要不足是目前该框架下的评估模型较少，用户应用时很多模型需要从头开发，不方便应用拓展。下一步需要探索在框架内扩充一些通用与特定领域专用评估模型，方便用户直接选用或二次开发，扩充框架的功能，提高框架的适用性。

## 参考文献:

[1] 欧阳应军, 胡建鹏, 黄娟, 等. 模型驱动的软件多质量属性仿真评估方法[J]. 计算机应用研究, 2018, 35(4): 1154-1158, 1168.

Ouyang Yingjun, Hu Jianpeng, Huang Juan, et al. Simulation based on model-driven approach to multi-quality attributes evaluation of software[J]. Application Research of Computers, 2018, 35(4): 1154-1158, 1168.

- [2] 王华, 何伟, 陈永科. 炮兵维修分队保障行动仿真训练与评估系统[J]. 兵工自动化, 2017, 36(2): 50-55.  
Wang Hua, He Wei, Chen Yongke. Simulation Training and Evaluation System of Artillery Maintenance Unit Support Operation[J]. Ordnance Industry Automation, 2017, 36(2): 50-55.
- [3] 熊彪, 王帅, 李必鑫, 等. 基于 ARENA 的航空兵场站油料保障效能仿真评估[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(4): 92-96.  
Xiong Biao, Wang Shuai, Li Bixi, et al. Simulation for POL Support Effectiveness Evaluation of Air Base Based on Arena[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2018, 39(4): 92-96.
- [4] 何强, 郝建国, 黄健. 基于 SOA 的仿真服务系统[J]. 计算机仿真, 2007, 24(5): 98-102.  
He Qiang, Hao Jianguo, Huang Jian. A simulation service system based on SOA[J]. Computer simulation, 2007, 24(5): 98-102.
- [5] 李权, 李群, 王维平, 等. 仿真结果评估组件设计与实现[J]. 计算机仿真, 2003, 20(12): 24-26.  
Li Quan, Li Qun, Wang Weiping, et al. The design and realization of simulation result evaluation component[J]. Computer simulation, 2003, 20(12): 24-26.
- [6] 鞠儒生, 乔海泉, 邱晓钢, 等. HLA 仿真结果数据库设计及其应用研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 327-330.  
Ju Rusheng, Qiao Haiquan, Qiu Xiaogang, et al. Research on design and application of HLA simulation result database[J]. Journal of system simulation, 2006, 18(2): 327-330.
- [7] Paul C. Brown. SOA 实践指南应用整体架构[M]. 胡键, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2009.  
Paul C. Brown. Implementing SOA: total architecture in practice[M]. Translated by Hu Jian, et al. Beijing: China Machine Press, 2009.
- [8] 胡晓峰, 罗批, 司光亚, 等. 战争复杂系统建模与仿真[M]. 北京: 国防大学出版社, 2005  
Hu Xiaofeng, Luo Pi, Si Guangya, et al. War Complex System Modeling & Simulation[M]. Beijing: National Defense University Press, 2005.
- [9] Jonathan Gennick, Carol McCullough-Dieter, Gerrit-Jan Linker. Oracle8i DBA 宝典[M]. 赵艳勤, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2000.  
Jonathan Gennick, Carol McCullough-Dieter, Gerrit-Jan Linker. Oracle8i DBA Bible[M]. Translated by Zhao Yanqin et al. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2000.